

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

**Návrh technologického postupu opracování segmentu kulové
dráhy s využitím CAD/CAM systému**

**Production Technology Proposal of Track Ball Segment
Machining with the use CAD/CAM System**

Student:

Bc. Jakub Pekar, DiS.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Pekar, DiS.**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologického postupu opracování segmentu kulové dráhy s
využitím CAD/CAM systému
Production Technology Proposal of Track Ball Segment Machining with
the use CAD/CAM System**

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávající technologie obrábění segmentů kulové dráhy.
2. Návrh nové technologie opracování s využitím CAD/CAM systému.
3. Technicko – ekonomický přínos navrhovaného řešení.
4. Závěry pro realizaci v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-4.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. 256 s. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

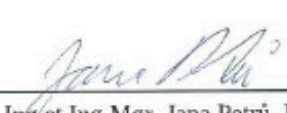
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



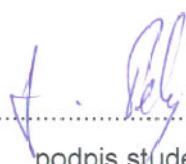

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrá, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5.2014


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19.5.2014


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jakub Pekar, DiS.

Adresa trvalého pobytu autora práce: Moravské náměstí 708, Uničov 783 91

Anotace diplomové práce

PEKR, J. *Návrh technologického postupu opracování segmentu kulové dráhy s využitím CAD/CAM systému: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 45 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Marek Sadílek, PhD.

Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem nového technologického postupu opracování segmentu kulové dráhy. Pro jeho výrobu je použita metoda třískového obrábění na navrženém CNC stroji s pomocí progresivních řezných nástrojů. Ke zhotovení nového postupu byl využit CAD/CAM systém MasterCAM X6. Závěr práce patří technicko-ekonomickému zhodnocení navržené varianty technologického postupu.

Annotation of master thesis

PEKR, J. *Production Technology Proposal of Track Ball Segment Machining with the use CAD/CAM System: Master thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 45 p. Thesis head: doc. Ing. Marek Sadílek, PhD.

The present master thesis deals with the design of a new Technology Proposal of Track Ball Segment. Its production method is used to machining on CNC machine using progress cutting tools. The construction of a new procedure was used CAD / CAM system Mastercam X6. Conclusion the thesis includes technical and economic evaluation of proposed variants of the technological process.

Seznam zkratek

Symbol	Význam	Jednotka
CAD	počítačem podporovaný návrh	[-]
CAM	počítačem podporovaná výroba	[-]
CIM	výroba integrovaná počítačem	[-]
CNC	počítačem číslicově řízený stroj	[-]
HB	tvrdost materiálu dle Brinella	[MPa]
R _m	mez pevnosti v tahu	[-]
T _a	spotřeba času výroby jednoho kusu i-té operace	[min]
T _b	čas pro přípravu	[min]
T _P	celkový čas výroby stávající technologií	[min]
T _{AP}	spotřeba času u i-té operace stávající technologie	[min]
T _{BP}	spotřeba času přípravy u i-té operace stávající technologií	[min]
T _N	celkový čas výroby navrhovanou technologií	[min]
T _{AN}	spotřeba času u i-té operace navrhované technologie	[min]
T _{BN}	spotřeba času přípravy u i-té operace navrhované technologie	[min]
T _i	průběžný čas výroby na jednotlivých strojích	[min]
U _i	náklad na jednotlivých strojích	[Kč]
U _P	celkové náklady na opracování stávající technologií	[Kč]
U _N	celkové náklady na opracování navrhovanou technologií	[Kč]
N _{PHR}	cena hrubovací frézy u stávající technologie	[Kč]
N _{PDO}	cena dokončovací frézy u stávající technologie	[Kč]
N _{PC}	celkové náklady na nástroje u stávající technologie	[Kč]
N _{NHR}	cena hrubovací frézy u navrhované technologie	[Kč]
N _{NDO}	cena dokončovací frézy u navrhované technologie	[Kč]
N _{NC}	celkové náklady na nástroje u navrhované technologie	[Kč]
v _c	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
n	počet otáček	[min ⁻¹]
f _z	posuv na zub	[mm/zub]
f _{ot}	posuv na otáčku	[mm·ot ⁻¹]

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ SEGMENTŮ KULOVÉ DRÁHY	9
2.1	O společnosti NOEN a.s.	9
2.2	Ozubený segment	10
2.3	Materiál ozubeného segmentu	12
2.4	Stávající postup výroby	12
2.5	Určení slabých míst stávajícího postupu výroby	15
3	(PŘED)VÝROBNÍ PROCES.....	16
3.1	Technická příprava výroby (TPV)	16
3.1.1	Konstrukční příprava výroby (KPV)	16
3.1.2	Technologická příprava výroby (TgPV)	16
3.1.3	Projektová příprava výroby (PPV)	18
3.2	Metodika navrhování výrobních postupů	18
3.3	Podklady pro navrhování výrobních postupů	19
3.4	Členění výrobních postupů.....	20
4	ÚVOD DO PROBLEMATIKY CAD/CAM SYSTÉMŮ	21
4.1	Rozdělení CAD/CAM systémů	21
4.2	Struktura postupu výroby součásti v CAD/CAM systémech.....	23
5	NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE OPRACOVÁNÍ S VYUŽITÍM CAD/CAM SYSTÉMU	24
5.1	Strojní zařízení pro novou technologii	24
5.2	Tvorba 3D modelu ozubeného segmentu.....	26
5.3	Postup tvorby CNC programu ozubeného segmentu	26
5.4	Import modelu	27
5.5	Navrhovaný technologický postup.....	28
5.6	Strategie opracování ozubení ozubeného segmentu.....	32
5.7	Nástroje použité pro opracování ozubení segmentu.....	34
6	TECHNICKO – EKONOMICKÝ PŘÍNOS NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ.....	37
6.1	Úspora času.....	37
6.2	Úspora nákladů opracování	38
6.3	Úspora nástrojů při opracování ozubení.....	41
6.4	Celková úspora za použití navrhované technologie.....	42
7	ZÁVĚRY PRO REALIZACI V PRAXI.....	43
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	44

1 ÚVOD

Strojírenství představuje hlavní odvětví průmyslu a je základem rozvoje ostatních průmyslových odvětví. Dnešním trendem ve strojírenství je kladení důrazu na kvalitu a efektivitu výroby, na její technickou úroveň a snižování nákladů.

Současná konkurence a trh se neustále mění na základě požadavků zákazníka. Změny probíhají rychlejším tempem a požadavky jsou stále náročnější. Má-li výrobce v konkurenčním prostředí uspět, nezbyvá mu, než soustavně výrobní proces zdokonalovat a inovovat. Znamená to na jedné straně hledat možnosti ve zlepšení organizačních opatření, na straně druhé pak v oblasti výrobních prostředků a výrobních technologií. K charakteristickým znakům této doby patří i nesmírně rychlý rozvoj vědy a techniky.

Problematika CNC obrábění a s ním spojená práce v CAD/CAM systémech je v dnešní době téměř nenahraditelnou součástí výroby v celém strojírenském odvětví. Práce v každém CAD/CAM systému přináší vysoké nároky jak na výpočetní techniku, na pracovníky, tak i v neposlední řadě na stroje.

Cílem diplomové práce je návrh vhodnější technologie výroby s použitím moderního CAD/CAM software vybavení, CNC stroje a progresivních nástrojů. Snahou je dosáhnout snížení výrobních nákladů za předpokladu dodržení požadovaných přesností, návrhu nových nástrojů a minimalizace operací technologického postupu.

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ SEGMENTŮ KULOVÉ DRÁHY

Tato část diplomové práce popisuje výrobu, respektive postup obrábění ozubeného segmentu s použitím převážně konvenčních obráběcích strojů. Nejprve však přibližuje funkci a význam ozubeného segmentu v rámci velkstroje kolesového rýpadla KK 1300.

Kolesové rýpadlo KK 1300 je stroj určený ke kontinuální povrchové těžbě velkých objemů zeminy a nerostných surovin (především skrývky, rud a hnědého uhlí). Jeho těžební výkon je 5500 m³/h a měrná rozpojovací síla 219 kN/m. Průměr kola osazeného 15-ti korečky je 13 m. Pohyb rýpadla je zajištěn housenicovým podvozkem.

Kolesové rýpadlo KK 1300 navrhla, vyprojektovala a také smontovala společnost Noen a.s.



Obr. 1 Celkový pohled na kolesové rýpadlo KK 1300

2.1 O společnosti NOEN a.s.

Společnost NOEN, a.s. pracuje na českém i mezinárodním trhu již od roku 1997. Zaměstnává tým 90-ti špičkových projektantů a konstruktérů s dlouholetou praxí, kteří veškeré projekční a konstrukční práce provádějí na nejmodernější HW a SW technice.

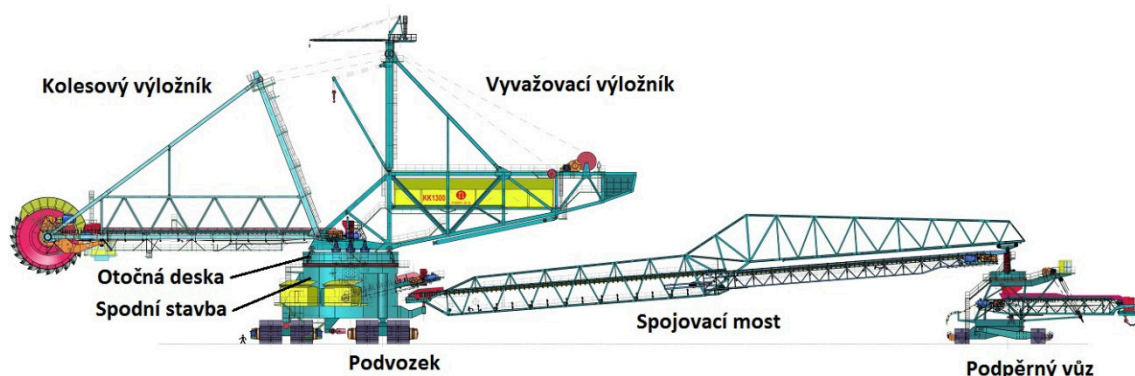
Hlavní činností firmy je projektování a inženýring strojů a zařízení pro povrchové dobývání nerostů, transportní zařízení, zařízení pro manipulaci s materiálem na složišti a dodávky strojů a zařízení pro skládková hospodářství sypkých hmot.

V oblasti projekční činnosti pro zahraničí je to projektová dokumentace včetně výpočtů, dílenských výkresů jak dílčích uzlů strojů z uvedeného oboru, tak i kompletních strojů.

Na domácím trhu jsou to studie a projekt nových kolesových rýpadel, rekonstrukce a modernizace pasových dopravníků a strojů pro skládkové hospodářství. [6]

2.2 Ozubený segment

Ozubený segment č.v. UND-302510-A (Příloha A) je část Ozubeného věnce sestávajícího se z 32 kusů ozubených segmentů uložených do kruhu. Ozubený věnec je spolu s dolními a horními segmenty, koulemi a vodícími klecemi hlavní částí kulové dráhy kolesového rýpadla KK 1300. Kulová dráha, která je umístěná mezi spodní stavbou a otočnou deskou stroje, umožňuje otáčivý pohyb kolesového výložníku s kolesem, potřebný pro efektivní odebírání těžného materiálu.

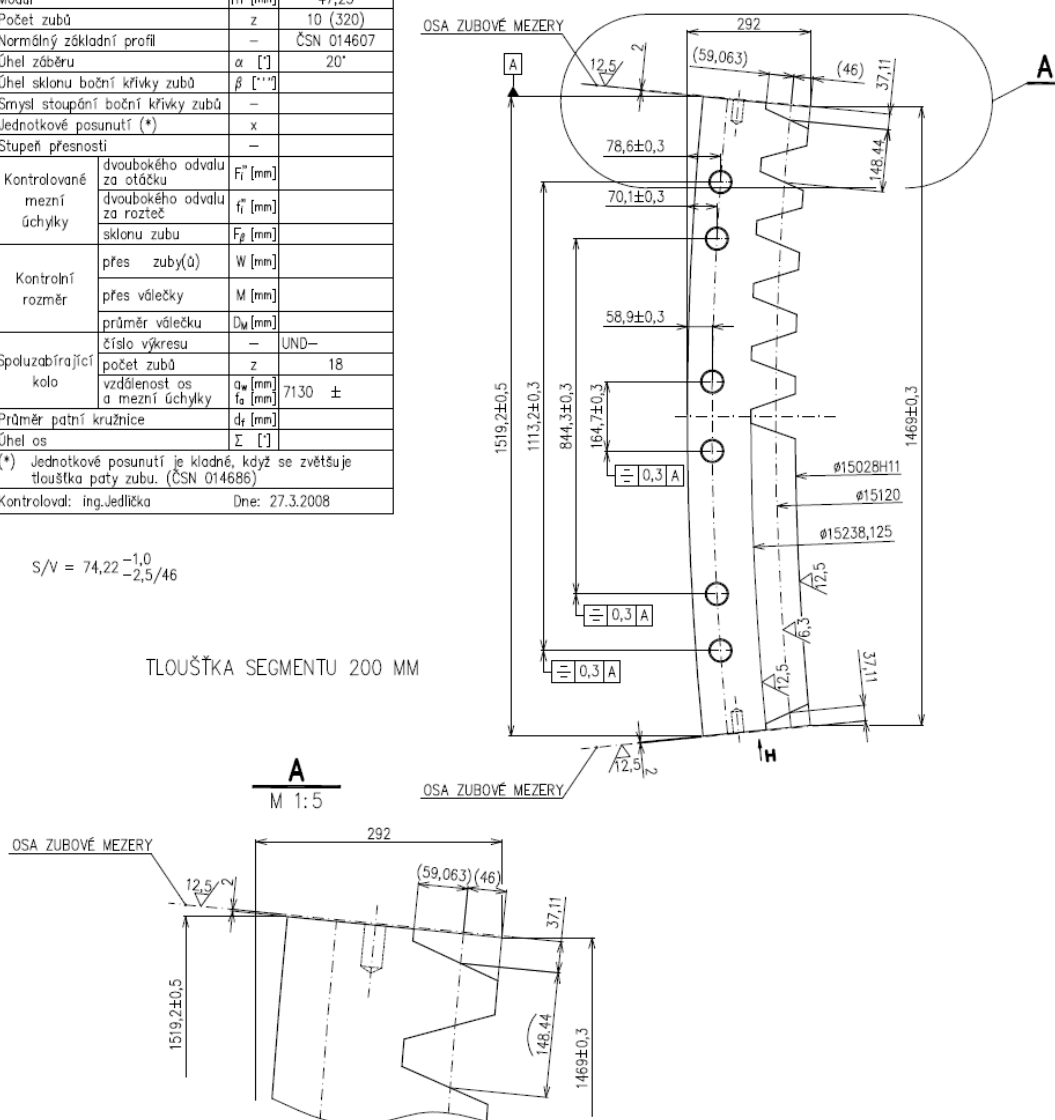


Obr. 2 Kolesové rýpadlo KK 1300 a jeho hlavní části

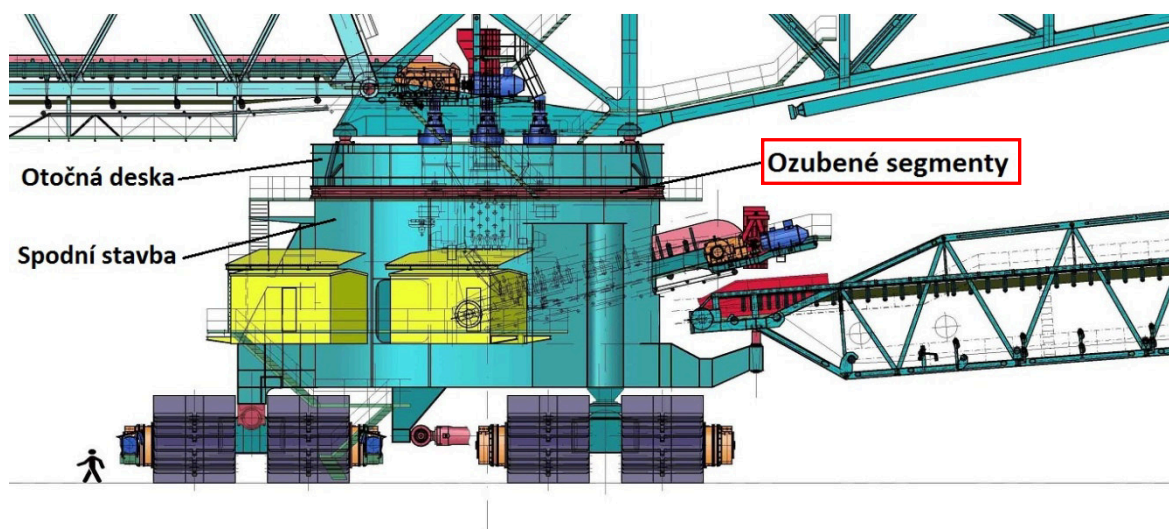
Modul	m [mm]	47,25
Počet zubů	z	10 (320)
Normální základní profil	—	ČSN 014607
Úhel záběru	α [°]	20°
Úhel sklonu boční křivky zubů	β [°]	—
Smysl stoupání boční křivky zubů	—	—
Jednotkové posunutí (*)	x	—
Stupeň přesnosti	—	—
Kontrolované mezní úchytky	dvoubokého odvalu za otáčku	F_f [mm]
	dvoubokého odvalu za rozteč	f_f [mm]
	sklonu zubu	F_g [mm]
Kontrolní rozměr	přes zuby(ů)	W [mm]
	přes válečky	M [mm]
	průměr válečku	D_w [mm]
Spoluzabírající kolo	číslo výkresu	— UND—
	počet zubů	z
	vzdálenost os a mezní úchytky	a_w [mm]
Průměr patní kružnice	d_f [mm]	7130 ±
Úhel os	Σ [°]	—
(*) Jednotkové posunutí je kladné, když se zvětšuje tloušťka paty zubu. (ČSN 014686)		
Kontroloval: ing. Jedlička Dne: 27.3.2008		

$$S/V = 74,22 \frac{-1,0}{-2,5/46}$$

TLOUŠŤKA SEGMENTU 200 MM



Obr. 3 Ozubený segment a jeho hlavní rozměry (kompletní výrobní výkres viz.příloha A)



Obr. 4 Umístění ozubených segmentů kulové dráhy

2.3 Materiál ozubeného segmentu

Ozubený segment je z materiálu 15 260.3/9 ČSN 41 5260. Je to Mn-Cr-V ocel k zušlechťování vhodná pro velmi namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel, čepy, pružiny, hřídele a vřetena [7]. Jako ekvivalent se používá ocel označená 51CrV4 nebo W.nr. 1.8159.

Obrobitelnost materiálu 15 260 ve stavu .3 dle ČSN 41 5260 je pro frézování 13b (při tvrdosti HB ≤ 225). Obrobitelnost ve stavu .9 (při tvrdosti HB ≤ 300) je pro frézování a vrtání 11b.

Jako polotovár Ozubeného segmentu je dodáván ohrubovaný výkovek o rozměrech 220x310x1550 mm v provedení dle TDP ČSN 42 0276.50.

2.4 Stávající postup výroby

V současné době výroba Ozubeného segmentu probíhá dle technologického postupu Ozubeného segmentu UND-302510-A (Tab.1). Obrobení se nyní provádí na několika typech obráběcích strojů a to jak s využitím konvenčních, tak i CNC strojů. Používány jsou běžné frézovací nástroje. Vyjimku tvoří nástroje pro hrubování a dokončování ozubení (obr. 5), vyrobené speciálně dle rozměrových požadavků zubu (zubové mezery) segmentu.

Tab. 1 Stávající technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP				Změna
Název Ozubený segment		Číslo výkresu UND-302510-A		List 1
		Číslo výkresu sestavy		Listů 2
Rozměr polotovaru 220x240x1550	Jakost materiálu 15260.3/9	Norma ČSN 41 5260	Hmotnost 464 kg	Počet kusů 32

Č.o.	Název operace	Pracoviště	Popis práce	Ta [min]	Tb [min]
005	Rýsování		Prorýsovat	10	0
010	Vyvtávání	W160HC-NC	Hrubovat s 5 mm přídávkem na plochu: - Čela míra 200 - Průměry 15540 a 15028 H11 - 2x osu zubní mezery (konce pod úhlem) pouze pásek (dodělá frézka)	1520	90

Č.o.	Název operace	Pracoviště	Popis práce	Ta [min]	Tb [min]
			- Lehce naznačit tvar ozubení		
015	Frézování	FCH63SCA	Upnout na stůl, vyrovnat dle vypáskování od horizontky a s přepnutím: - Přefrézovat boky segmentu s přídkem 5 mm na plochu	180	30
020	Vyrtávání	W200GNR/4000	Položit na stůl a pečlivě vyrovnat, upnout křížovou hlavu: - Hrubovat ozubení dle naznačení z op.5 s přídkem 5 mm na plochu i hloubku zubu	2010	70
025	Zámečnické práce		Srazit ostří po opracování.	18	2
030	Tepelné zpracování		Šlechtit na 833-932 MPa. Dodat protokol z tepelného zpracování.		
035	Vyrtávání	W200GNR/4000	Frézovat oboustranně čela (míra 200) na míru 202.5.	180	70
040	Vyrtávání	W200GRNC 3.7/9.0	Hrubovat s přídkem 2 mm na plochu: - Průměry 15540 a 15028 H11 - 2x osu zubní mezery (konce pod úhlem) pouze pásek (dodělá frézka) - Lehce naznačit tvar ozubení	400	70
045	Vyrtávání	W160H/5.1	Upnout na stůl, vyrovnat dle vypáskování z předchozí operace a s přepnutím: - Přefrézovat boky segmentu s přídkem 5 mm na plochu - Dofrézovat s přídkem 2 mm poloviny zubů na koncích segmentu	210	40
050	Vyrtávání	WHN13.8 CNC	Upnout střed segmentu na střed stolu a s pootáčením + posunutím X souřadnice o hodnoty dodané technologem: - Frézovat ozubení s přídkem 2 mm na plochu i hloubku zubu	450	70
055	Vyrtávání	W200GNR/4000	Frézovat oboustranně čela na míru 200 hotově	180	70
060	Vyrtávání	W200GRNC 3.7/9.0	Frézovat hotově: - Průměry 15540 a 15028 H11 - 2x osu zubní mezery (konce pod úhlem) pouze pásek (dodělá klasika) - Lehce naznačit tvar ozubení	450	70

Č.o.	Název operace	Pracoviště	Popis práce	Ta [min]	Tb [min]
065	Frézování	FCH63SCA	Upnout na stůl, vyrovnat dle vypáskování z předchozí operace a s přepnutím: - frézovat boky segmentu hotově	150	30
070	Vyvtávání	WHN13.8 CNC	Upnout střed segmentu na střed stolu a s pootáčením + posunutím X souřadnice o hodnoty dodané technologem: - Frézovat ozubení hotově - V ose zubní mezery vrtat prům.25 do hl.50	860	90
075	Zámečnické práce		Srazit ostří po opracování.	20	10
080	Kontrola		Kontrola rozměrů. Vyplnit kontrolní protokol.	50	0



Obr. 5 Vlevo tvarový nástroj pro hrubování zubové mezery, vpravo nástroj pro dokončování zubové mezery

2.5 Určení slabých míst stávajícího postupu výroby

Pro provedení analýzy byly určeny tyto slabá místa:

- Frézování ozubení za použití méně produktivních nástrojů – tvarové čepové frézy
- Složitost technologie – příliš operací v technologickém postupu
- Složitá manipulace se segmentem „ze stroje na jiný stroj a zase zpět“

Z důvodu velkého počtu operací a výrobních pracovišť ve stávajícím technologickém postupu je Ozubený segment mnohokrát manipulován, ustavován, upínán a vyrovnáván na pracovní stůl strojů. Z výše uvedeného vyplívá zvýšená možnost vytvoření rozměrové nepřesnosti při výrobě.

Po určení slabých míst se tato diplomová práce zaměří na návrh technologického postupu výroby Ozubeného segmentu s využitím minimálního počtu strojů, vytvoření vhodné CAM strategie opracování a volbu nových, běžně vyráběných řezných nástrojů pro opracování ozubení.

3 (PŘED)VÝROBNÍ PROCES

Technologické projektování je jedna ze základních činností v podniku, která zajišťuje vlastní výrobní činnost. Celou problematiku této činnosti je potřeba brát ve všech fázích systémově a komplexně. Základem je hledání optimální konstrukce výrobku, optimální technologické metody, optimální úrovně výrobních zařízení, vybavení a jejich automatizace, struktury a úrovně celého výrobního systému a to při různých výrobních podmínkách, z nichž nejzávažnější je výrobní množství. Celá oblast technické přípravy výroby (TPV) musí být výsledkem systematické spolupráce konstruktéra a technologa.

Každá ze základních technologií – slévání, tváření, svařování, obrábění a montáž má řadu technologických metod, z nichž technolog po analýze výrobního programu a součástkové základny volí tu, která je za daných výrobních podmínek optimální a po určení vhodného optimálního výrobního zařízení a vybavení, zpracuje konkrétní výrobní postup. Při tom musí respektovat návaznost jednotlivých technologických metod ve všech fázích výrobního procesu, tj. od výroby polotovaru až po konečnou montáž, tak aby bylo dosaženo optimálního ekonomického průběhu celého výrobního procesu. [1]

3.1 Technická příprava výroby (TPV)

Lze ji chápat jako souhrn činností a opatření technicko – organizačního charakteru, zaměřených na zpracování konstrukční, technologické, projektové dokumentace a materiálně technického vybavení výrobního procesu. Ze zkušenosti vyplývá, že konstrukční a technologická příprava výroby tvoří hlavní články TPV a svou úrovní podstatně ovlivňují úroveň výrobku a výrobních systémů a tím i výrobní proces. [1]

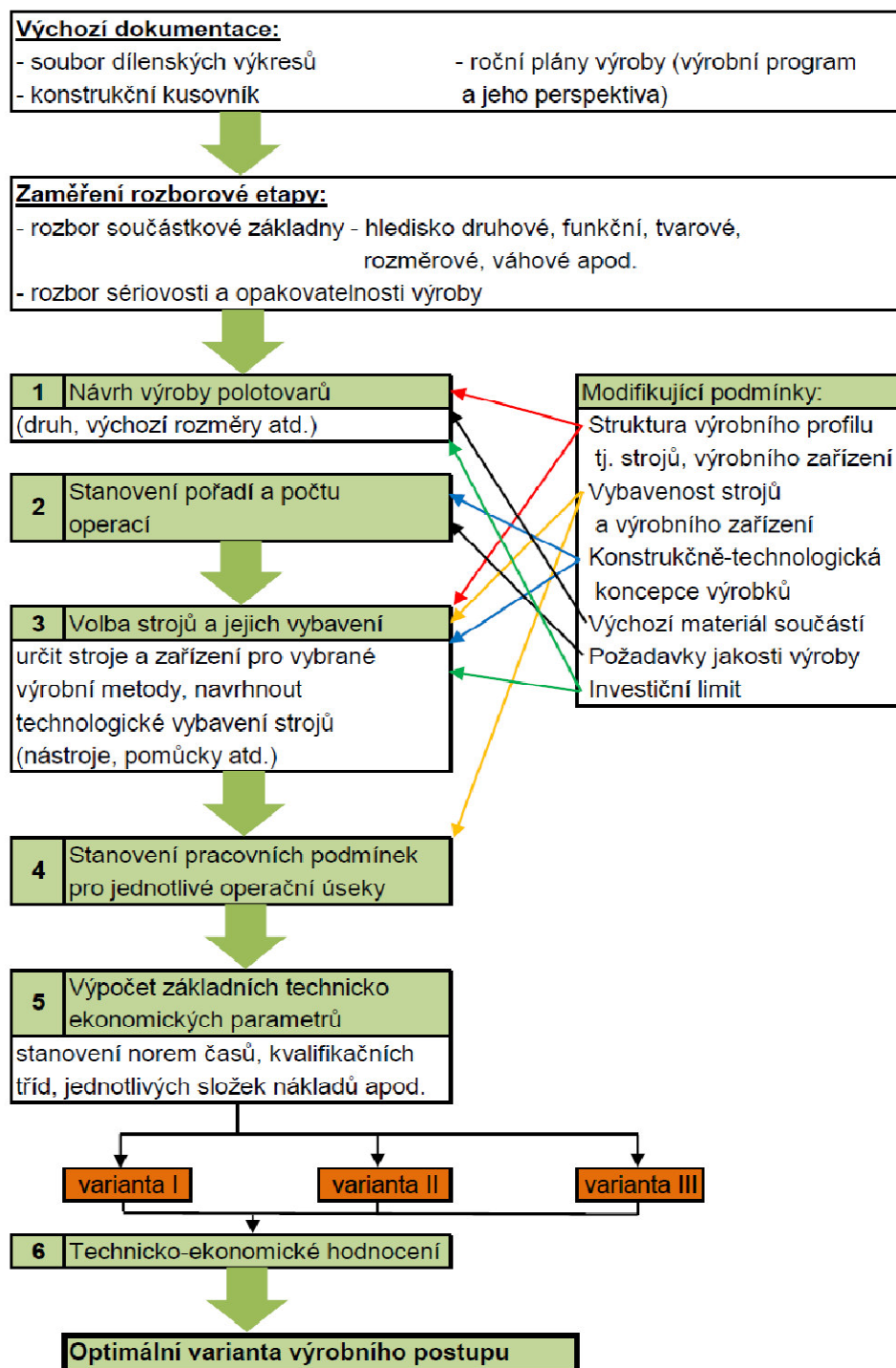
3.1.1 Konstrukční příprava výroby (KPV)

Je zaměřena na konstruování nových výrobků nebo modernizaci stávajících výrobků. Snahou je, dosáhnout funkčně co nejdokonalejší a provozně co nejehospodárnější, konstrukčně jednoduchý a vzhledově co nejideálnější výrobek. Náklady na výrobu daného výrobku jsou již rozhodující měrou ovlivněny při konstrukci daného výrobku. Konstrukce také podstatně ovlivní výsledky práce technologie a projekce. [1]

3.1.2 Technologická příprava výroby (TgPV)

Je souhrn technicko – organizačních činností a opatření zaměřených na zpracování výrobní dokumentace a podkladů pro materiální vybavení výrobního procesu. Výrobní dokumentace obsahuje soubor závazných technicko-organizačních a ekonomických údajů potřebných pro zajištění racionální výroby z hlediska navrhované technologie výroby,

manipulace, kontroly, organizace a ekonomiky práce. Časová obsahová návaznost základních činností v TgPV je uvedena na obr. 6. [1]



Obr. 6 Rámcové schéma časové a obsahové návaznosti základních činností technologické přípravy výroby [1]

3.1.3 Projektová příprava výroby (PPV)

Řeší otázky časové a prostorové z hlediska požadovaných cílů technologického projektu. Rozsáhlá činnost v PPV vyžaduje spolupráci různých specialistů. [1]

3.2 Metodika navrhování výrobních postupů

Výrobním postupem nazýváme předpis účelného pořadí a počtu jednotlivých operací, které mají být vykonány na pracovním předmětu v časové posloupnosti. Výrobním postupem musíme zabezpečit předepsanou jakost výrobku, nejkratší průběžnou dobu výroby a nejnižší výrobní náklady na zhotovení výrobku.

Přeměna výchozího polotovaru v hotový výrobek probíhá ve výrobním procesu. Souhrn výrobních procesů nazýváme strojírenskou technologií, kterou dělíme do tří základních skupin [2]:

- výroba polotovarů součástí,
- výroba hotových součástí,
- montáž ve stroje a zařízení.

Dle rozdělení strojírenské technologie dělíme výrobní postupy na:

- výrobní postupy pro přípravu polotovarů,
- výrobní postupy pro zpracování součástí,
- výrobní postupy pro montáž strojů a zařízení.

Výrobním postupem musíme zabezpečit:

- předepsanou jakost výrobku,
- nejkratší průběžnou dobu výroby,
- nejnižší výrobní náklady na zhotovení výrobku.

Z metodického hlediska spočívá vypracování výrobního postupu v řešení následujících úloh [2]:

- Stanovení optimálních rozměrů, tvaru a hmotnosti materiálu pro výrobu polotovarů.

- Určení sledu, druhu a počtu operací nezbytných pro výrobu.
- Navržení technicky vhodného a ekonomicky účelného výrobního zařízení.
- Určení vhodné technologické základny, vhodného ustavení a účelného upnutí obrobku v dané operaci.
- Přepočet rozměrů, pokud se neshoduje technologická s konstrukční základnou.
- Rozvržení celkového přídavku na jednotlivé operace a stanovení mezioperačních rozměrů a tolerancí.
- Návrh nejvhodnějšího nářadí (nástrojů, měřidel, přípravků, pomůcek).
- Stanovení optimálních řezných podmínek včetně prostředí.
- Předepsání normy času a výše mzdy.
- Vypracování technologické dokumentace (forma je odvislá od vybavení pracoviště).
- Provádět prověrky efektivnosti výroby a uplatňovat nové pokrokové technologie.

3.3 Podklady pro navrhování výrobních postupů

Při navrhování výrobních postupů je potřeba celá řada informací, které jsou čerpány z následujících podkladů [2]:

- Konstrukční dokumentace
 - výrobní výkresy součástí,
 - výkresy sestav a podsestav,
 - konstrukční kusovníky,
- výkresy polotovarů,
- technické přejímací podmínky,
- výrobní program,
- údaje o organizaci dílny, závodu, podniku, apod.,

- plán výroby,
- katalogy nářadí, přípravků a pomůcek,
- normativy a technicko hospodářské normy,
- kooperační vztahy.

3.4 Členění výrobních postupů

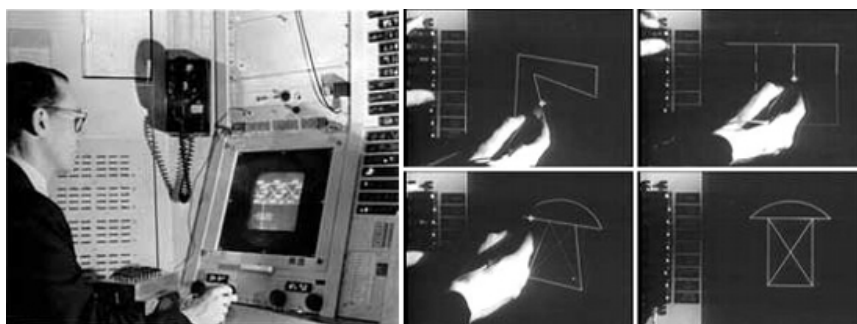
Výrobní postupy se skládají [2]:

- technologický postup – je technologická část, která obsahuje pouze nutný sled technologie pro míněné změny na pracovním předmětu – činnost strojů a zařízení,
- pracovní postup - je část, která obsahuje činnost pracovníka ve výrobním procesu

4 ÚVOD DO PROBLEMATIKY CAD/CAM SYSTÉMŮ

Práci konstruktérů, technologů, inženýrů a techniků si v dnešní době ve strojírenských firmách nelze představit bez použití CAD/CAM systémů. Kvalitní CAD/CAM systémy splňují jednu ze zásadních podmínek pro efektivní a kvalitní funkci konstrukce a technologickou přípravu výroby.

Historie a vývoj CAD/CAM systémů je poměrně nedávná. Je to dáno především tím, že CAD/CAM systémy jsou pevně svázané s vývojem počítačové techniky. Počátky CAD jsou datovány od poloviny 20. století, kdy vznikl geometrický jazyk ATP. Dalším významným vývojem je rok 1963, kdy byly prezentovány výsledky vykreslení a manipulace grafických objektů na displeji počítače TX-2, což lze považovat za počátek interakční počítačové grafiky. [3]



Obr. 7 Program SKETCHPAD a počítač TX-2 [4]

V dřívější době se hlavní uplatnění CAD/CAM systémů nacházelo v oblasti výroby forem, zápuštěk a jiných tvarově složitých součástek v různých odvětvích strojírenského průmyslu (hlavně kosmického, leteckého a automobilového). V dnešní době se CAD/CAM systémy uplatňují i v běžné strojírenské výrobě.

4.1 Rozdělení CAD/CAM systémů

CAD/CAM systémy představují integraci mezi CA systémy. A to mezi CAD a CAM systémem. Pojem CAD/CAM systém můžeme chápat v těchto rovinách [5]:

- CAD/CAM systém jako útvar v rámci podnikového CIM,
- CAD/CAM jako technologie,
- CAD/CAM jako software.

Rozdělení CAM systému je v podstatě podobné jako u systému CAD. CAM systémy můžeme dělit podle několika kritérií. Hlediska dělení mohou být různá a to např. podle ceny, podle použití nebo podle podpory ze strany výrobce daného software. CAM systémy mohou být rozlišovány dle velikosti systému. Velikosti systému myslíme konkrétní využití dané aplikace (množství doplňků nadstaveb, obráběcích operací atd.).

CAD/CAM systém jako počítačem podporovaný útvar v rámci CIM znamená, že tento systém zabezpečuje všechny činnosti a funkce spadající pod oba CA systémy, s propojením na přímé vazby na ostatní CA systémy.

Pod pojmem CAD/CAM lze chápat také technologii, která využívá počítače pro vykonávání určitých funkcí v předvýrobních etapách i v samotné výrobě. Tato technologie představuje maximální možnou integraci přípravných a výrobních procesů ve všech průmyslných činnostech. Vyvíjí se směrem k vyšší integraci předvýrobních a výrobních fází, které byly tradičně chápány jako oddělené činnosti výrobního podniku.

Třetí pojem pro většinu technické veřejnosti znamená nejvýznamnější představa o CAD/CAM systému jako o softwaru. Tyto softwary zabezpečují podstatně méně funkcí a činností v porovnání s CAD/CAM jako vnitropodnikový útvar.

Některé CAM lze také dodávat jako školní aplikace, které slouží jako výukové verze a nedovolují využívat veškeré možnosti těchto systémů. Slouží většinou pro obecné seznámení s principem konstruování a postupu tvorby NC programu. Omezením může být nemožnost ukládání, nebo tvorby NC kódu.

Existují například plně funkční lokalizované verze systému, však bez možnosti ukládání a tisku. Takové verze systému se dají pořídit již v řádech několika stovek korun za jednu licenci. Další CAM systémy mohou obsahovat všechny části aplikace od konstrukční části tvorby modelů, až po generaci NC kódu a samotného obráběcího procesu. CAM systémy mohou být také rozšířeny o 3D frézování, případně o vícené frézování, popřípadě hovoří-li se obecně o obrábění, tak o vícené obrábění, které umožňuje na obecných tvarových plochách generovat a simulovat dráhy nástroje.

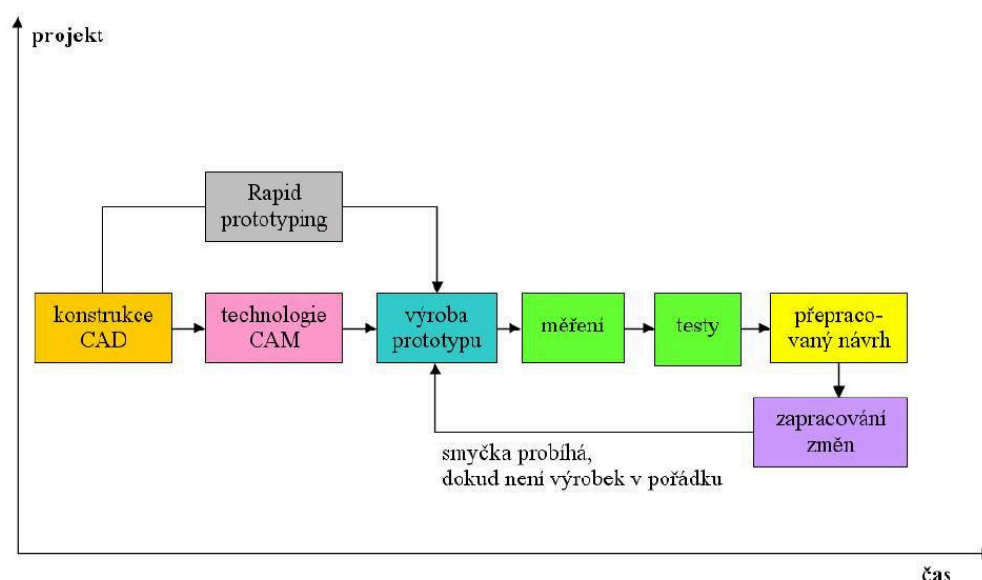
Všechny CAD/CAM systémy (ať jsou na jakémkoli stupni vývoji) mají společné tyto aspekty:

- počítačovou grafiku,
- společnou databázi,
- grafickou vizualizaci.

Společná databáze umožňuje tvorbu principu modulárnosti. To znamená, že každý CAD/CAM se skládá z několika samostatných modulů, přitom je možné využívat výsledky jiných modulů právě přes společnou databázi. Počet a rozsah modulů závisí na konkrétní úloze, která se řeší pomocí CAD/CAM systémů. V podstatě všechny CAD/CAM softwary mají několik základních modulů, které tvoří tzv. funkční minimum CAD/CAM systémů. K tomuto minimu je možné přidávat další moduly s různým zaměřením a účelem.

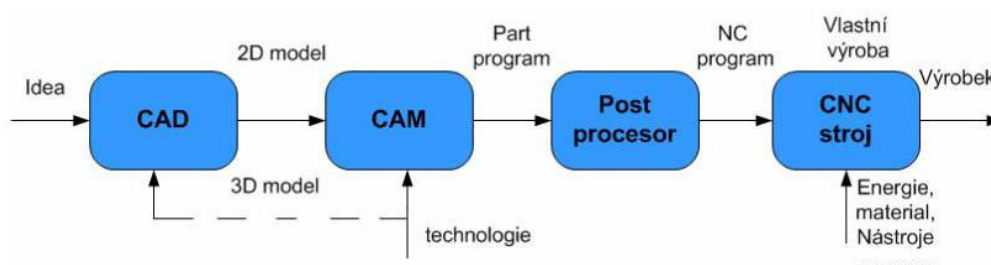
4.2 Struktura postupu výroby součástí v CAD/CAM systémech

Postup procesu vývoje a výroby výrobku pomocí CAD/CAM systému lze zjednodušeně znázornit jako na obrázku 8.



Obr. 8 Proces vývoje výrobku při použití CAD/CAM systémů [5]

Strukturu výroby součástí v CAD/CAM systémech, lze chápat jako souhrn činností probíhajících na jednotlivých rozhraních, které provázejí zhotovení výrobku, od počáteční fáze návrhu, až po konečnou fázi výroby, jejímž výsledkem je konkrétní výrobek. Sled těchto činností je schematicky znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 9 Hierarchie výroby součástí pomocí CAD/CAM systémů [5]

5 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE OPRACOVÁNÍ S VYUŽITÍM CAD/CAM SYSTÉMU

Návrh nové technologie výroby uvažuje s tím, že celý Ozubený segment č.v. UND-302510-A bude vyroben tzn. obroben na jediném CNC stroji za použití progresivních nástrojů a vhodné CAM strategie obrábění.

Pro vypracování technologického postupu opracování Ozubeného segmentu jsem předpokládal použití strojního zařízení popsaného v kapitole 5.1, pro který byl na základě 3D modelu vytvořen program obrábění.

5.1 Strojní zařízení pro novou technologii

Pro kompletní opracování ozubeného segmentu na jednom stroji byl vybrána vodorovná vyvrtávačka WFT 13 CNC (obr. 10). Tímto strojem bude výrobce segmentu v nejbližší době disponovat.



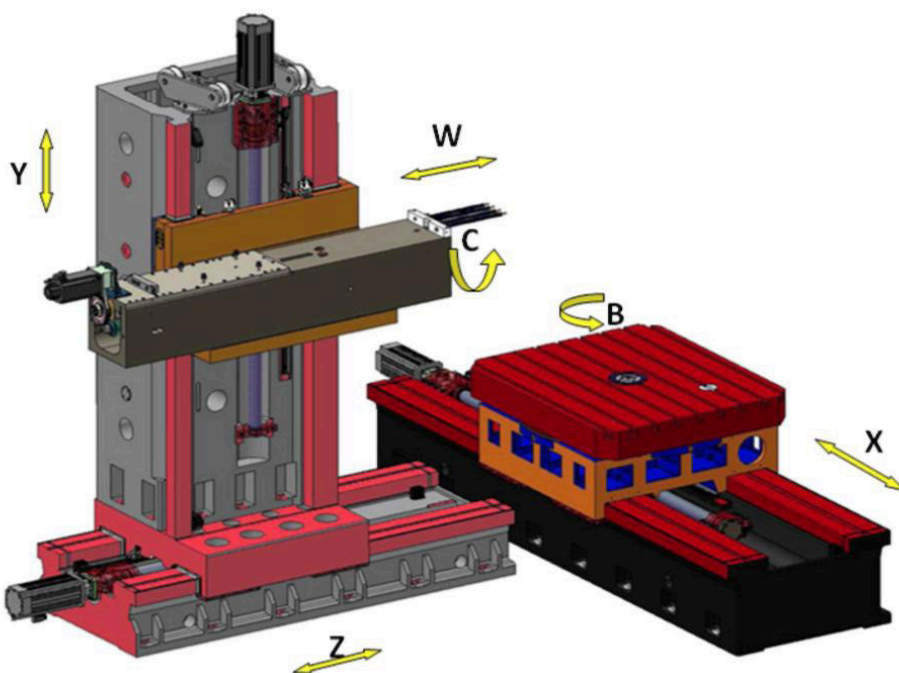
Obr. 10 Vodorovná vyvrtávačka WFT 13 CNC

Vodorovná vyvrtávačka WFT 13 CNC je souvisle řízený stolový frézovací a vyvrtávací stroj moderní konstrukce, ideální pro výkonné kompletní obrábění větších obrobků do 15 tun. Tento univerzální stroj je určen pro uživatele žádající stroj s vysokým řezným výkonem, širokým technologickým využitím, spolehlivostí a jednoduchou obsluhou. Jedná se o nový stroj moderní konstrukce. Celý je navržen v co největší míře ze

standardizovaných komponentů světových výrobců (Bosch, Siemens, Heidenhain, SKF,...). Díky tomu je možná vysoká variabilita současně se zachováním příznivého poměru cena/výkon a s výhodou celosvětové servisní podpory.

Tab. 2 Základní technické parametry stroje

Průměr pracovního vřetena	130 mm
Rozsah otáček	10 – 3 000 ot/min
Pojezd X x Y x Z	3 500 x 2 000 x 1 500 mm
Pracovní posuv ve všech osách	1 – 8 000 mm/min
Rychloposuv osa X, Y a Z	10 000 mm/min
Rychloposuv osa V a W	8 000 mm/min
Rozměr otočného stolu	1 800 x 2 200 mm
Max. nosnost stolu	15 000 kg
Řídicí systém	Heidenhain iTNC 530

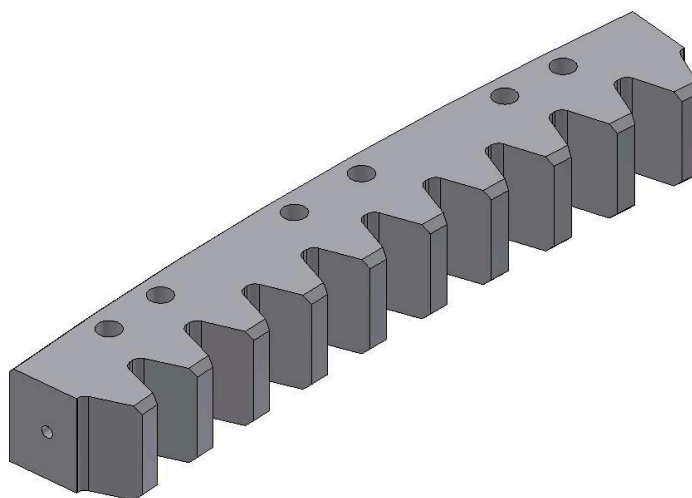


Obr. 11 Popis jednotlivých os stroje WFT 13 CNC

5.2 Tvorba 3D modelu ozubeného segmentu

Pro výrobu Ozubeného segmentu bylo nejdříve potřeba vytvořit 3D model. Tento model byl vytvořen v programu Inventor Professional 2010 od společnosti Autodesk. Inventor disponuje generátorem čelních ozubených kol, avšak evolventní tvar zubu nahrazuje přímkou. Takové zjednodušení je k účelu přesné výroby ozubení zcela nevhodné. Z tohoto důvodu byl přesný tvar ozubení vytvořen v nástavbě AutoCadu MechSoft a posléze do Inventoru importován.

Výsledkem je přesný 3D model, který poslouží pro import do prostředí CAM.



Obr. 12 3D model ozubeného segmentu

5.3 Postup tvorby CNC programu ozubeného segmentu

Technologický postup výroby pro obrábění ozubeného segmentu je vytvořen pomocí software Mastercam X6.

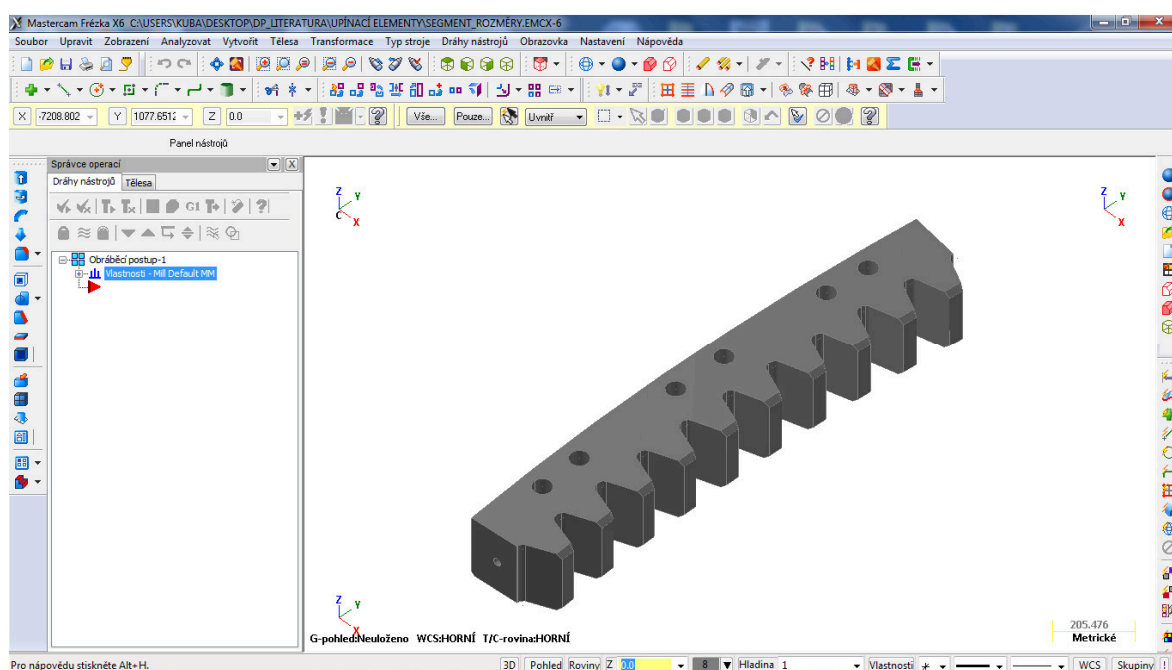
Mastercam je CAD/CAM aplikace od americké firmy CNC Software, Inc z Connecticut. Mastercam je kompletní systém pro efektivní a přesné obrábění modelů, plošných modelů nebo drátové geometrie. Využívá zkušenosti získané z mnohaletého vývoje (více než 25 let) a řady poznatků mnoha uživatelů z praxe. Mastercam zahrnuje programování obráběcích strojů v oblasti frézování, soustružení, drátového řezání, obrábění dřeva, ART a v neposlední řadě modul Robotmaster pro programování průmyslových robotů na bázi CAM systému. [8]



Důvodem výběru CAM software Mastercam X6 je jeho dostupnost z pohledu studenta na VŠB včetně možnosti práce z domu. NC kód navrhovaného technologického postupu bude tedy následně vytvořen v software, který bude vybrán výběrovým řízením, dle vytvořeného postupu v Mastercam X6.

5.4 Import modelu

Model Ozubeného segmentu vytvořený v CAD programu Inventor Professional 2010 má příponu *.ipt*. Mastercam X6 tento formát podporuje, proto není před importem modelu nutný žádný převod do vhodnějšího formátu.



Obr. 13 Importovaný model segmentu do prostředí Mastercam X6

5.5 Navrhovaný technologický postup

Tab. 3 Navrhovaný technologický postup

TECHNOLOGICKÝ POSTUP				Změna
Název Ozubený segment		Číslo výkresu UND-302510-A		List 1
		Číslo výkresu sestavy		Listů 2
Rozměr polotovaru 220x310x1550	Jakost materiálu 15260.3/9	Norma ČSN 41 5260	Hmotnost 464 kg	Počet kusů 32

Č.o.	Název operace	Pracoviště	Popis práce	Č.n.	Ta min	Tb min
1	Rýsování		Prorýsovat pro frézování a vrtání otvorů pro následné upnutí		10	0
2	Frézování	FCH63SCA	Upnout do svéráků a s přepnutím hrubovat oboustranně čela segmentu na míru 210	T1	80	30
3	Vyvrtávání	WFT13CNC	Upnout ke kostce a vrtat, vyhrubit a vystružit 6x prům.40H7 skrz segment (vrtat v místech budoucích otvorů prům.50H8). V průběhu vrtání naznačit navrtáním otvory i do upínací kostky.	T2 T3 T4	175	80
4	Vyvrtávání	WFT13CNC	Po odepnutí segmentu vrtat v upínací kostce 6x otvor pro M42x3, hrany srazit, závity vyřezat.	T2 T5	72	15
5	Vyvrtávání	WFT13CNC	Upnout segment lícovanými šrouby skrze otvory prům.40H7 - hrubovat obvodový tvar segmentu s přídávky 5 mm na plochu	T6	450	30
6	Vyvrtávání	WFT13CNC	Hrubovat tvar ozubení (odvrtáváním) s přídávky 5 mm na plochu i hloubku zubu	T7 T8	260	15
7	Zámečnické práce		Srazit ostří po hrubování.		18	2
8	Tepelné zpracování		Šlechtit na 833-932 MPa. Dodat protokol z tepelného zpracování.			
9	Frézování	FCH63SCA	Upnout a frézovat oboustranně čela segmentu hotově na míru 200	T1	130	30
10	Vyvrtávání	WFT13CNC	Upnout segment lícovanými šrouby	T6	170	30

Č.o.	Název operace	Pracoviště	Popis práce	Č.n.	Ta min	Tb min
			skrže otvory prům.40H7 - opracovat obvodový tvar segmentu hotově	T11		
11	Vyvrátání	WFT13CNC	S otočením kusu opracovat tvar ozubení hotově	T9	465	15
12	Vyvrátání	W160H/5.1	Položit na stůl a s otočením stolu vrtat v osách zubní mezery prům.25 do hl.50	T10	65	35
13	Zámečnické práce		Srazit ostří po opracování		20	10
14	Kontrola		Kontrola rozměrů. Vyplnit kontrolní protokol.		50	0

V návrhu nového technologického postupu je obrábění Ozubeného segmentu rozděleno do dvou sekcí:

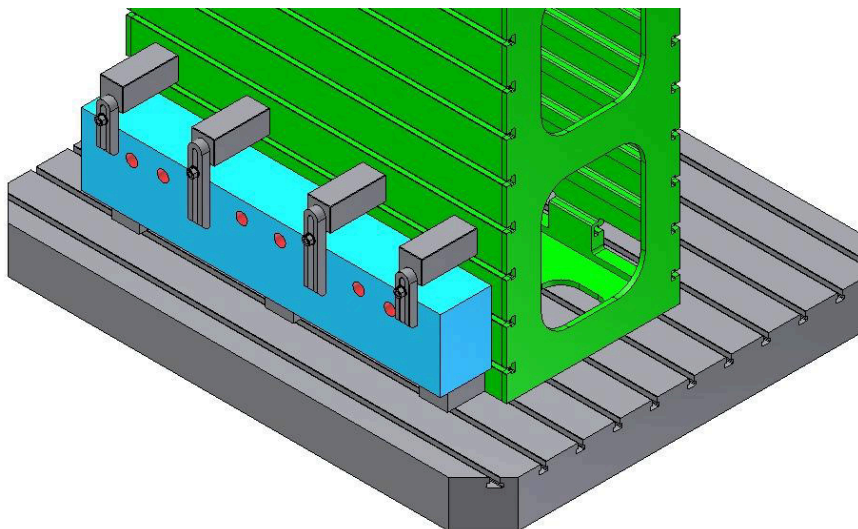
- hrubování
- dohrubování a dokončení

Mezi sekcemi hrubování a dohrubování je provedeno tepelné zpracování – šlechtění na hodnoty udávající výrobní výkres.

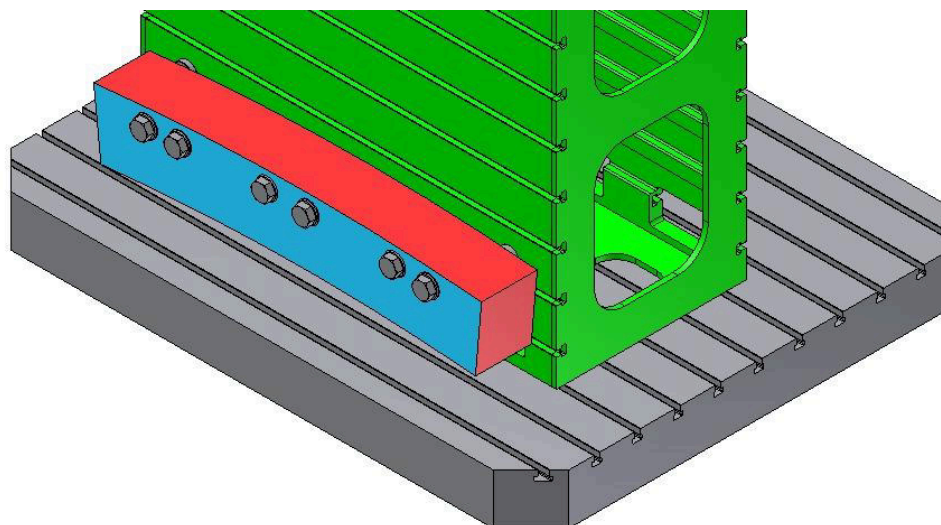
Hrubování ozubeného segmentu operace 2 až 6

Hrubování ozubeného segmentu bude provedeno s přídavky 5 mm na všechny plochy segmentu. Před hrubováním tvaru bude provedena pomocná operace vrtání 6-ti otvorů a zhotovení závitů v upínací kostce, které slouží pro následné upnutí segmentu lícovanými šrouby k upínací kostce. Viz. obrázky 14, 15 a 16. Červeně jsou označeny právě opracovávané plochy.

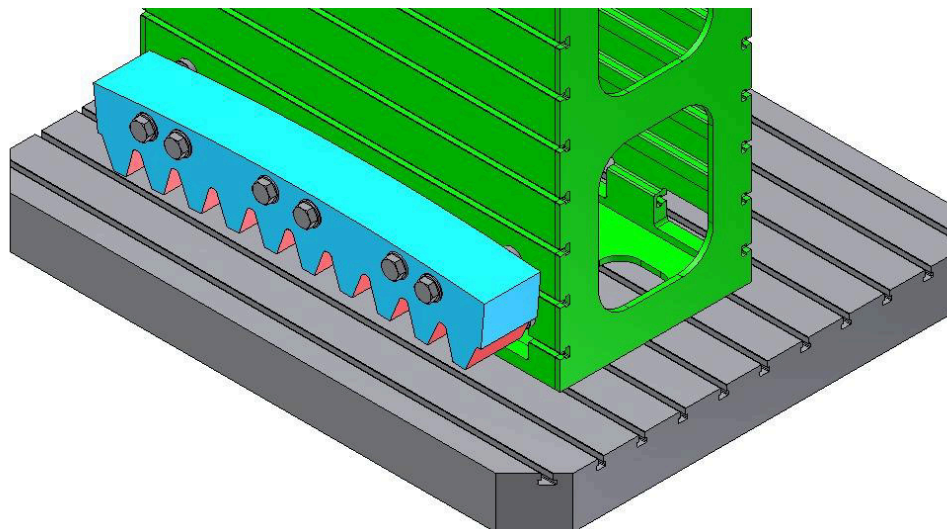
Přílohou této diplomové práce je schéma upnutí segmentu pro vrtání pomocných otvorů prům.40H7 (Příloha C). Schéma naznačuje umístění upínacích prvků na stole obráběcího stroje.



Obr. 14 Upnutí segmentu a vrtání pomocných otvorů pro následné upnutí – operace 3

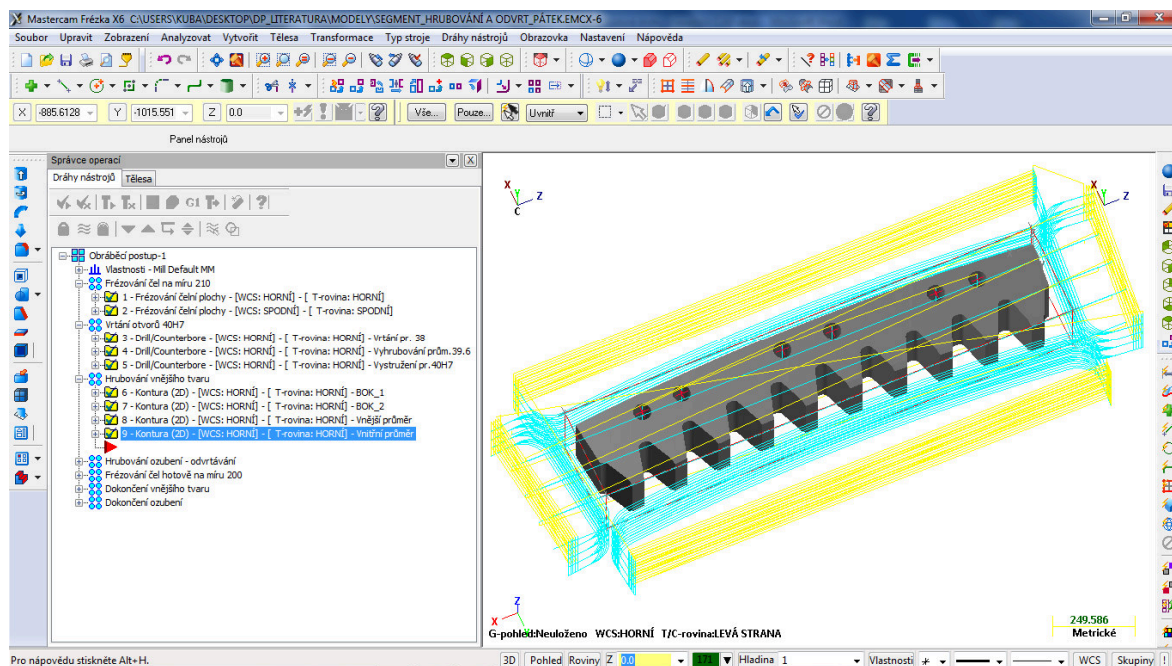


Obr. 15 Segment po ohrubování vnějšího tvaru – operace 5



Obr. 16 Segment po ohrubovaném ozubení – operace 6

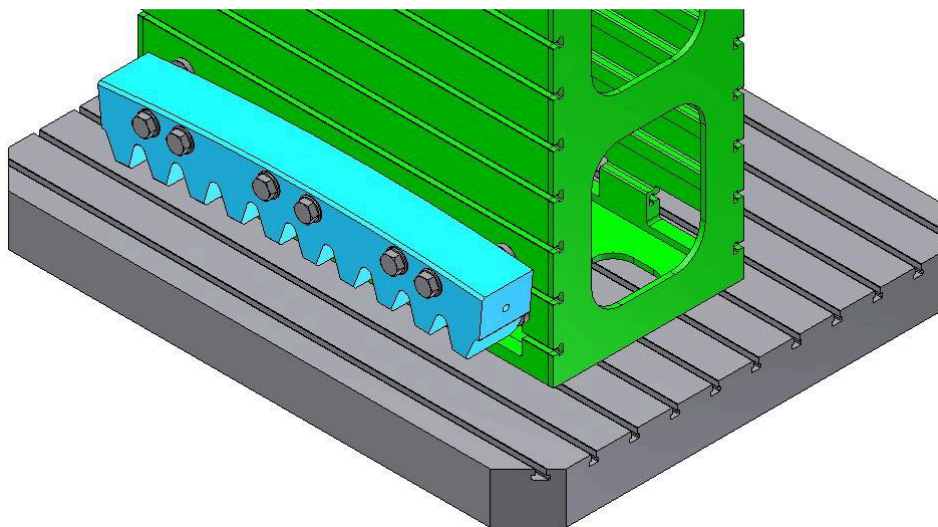
Strategie hrubování ozubeného segmentu v prostředí programu Mastercam X6 (obr.17).



Obr.17 Strategie hrubování segmentu – modře jsou označeny záběry nástroje, žlutě potom přejezdy nástroje

Dohrubování a dokončení ozubeného segmentu operace 9 až 12

Dohrubování a dokončení opracování bude probíhat po tepelném zpracování segmentu stejnou strategií jako hrubování (obr.18).

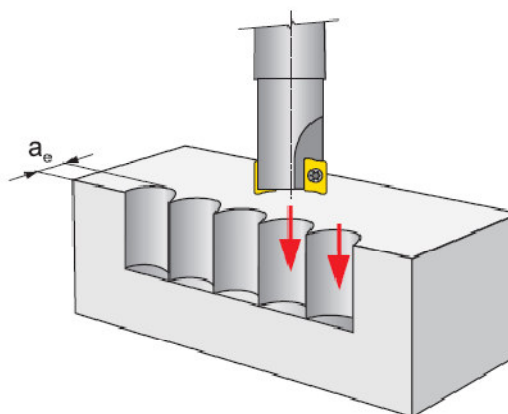


Obr. 18 Segment po kompletním opracování

5.6 Strategie opracování ozubení ozubeného segmentu

Stávající technologie opracování ozubení je založena na postupném frézování zubové mezery tvarovými frézami. Tyto frézy (obr. 5) jsou vyráběny na míru konkrétnímu modulu ozubení a počtu zubů. Z toho vyplývá, že nákup takovýchto fréz je finančně velmi nákladný.

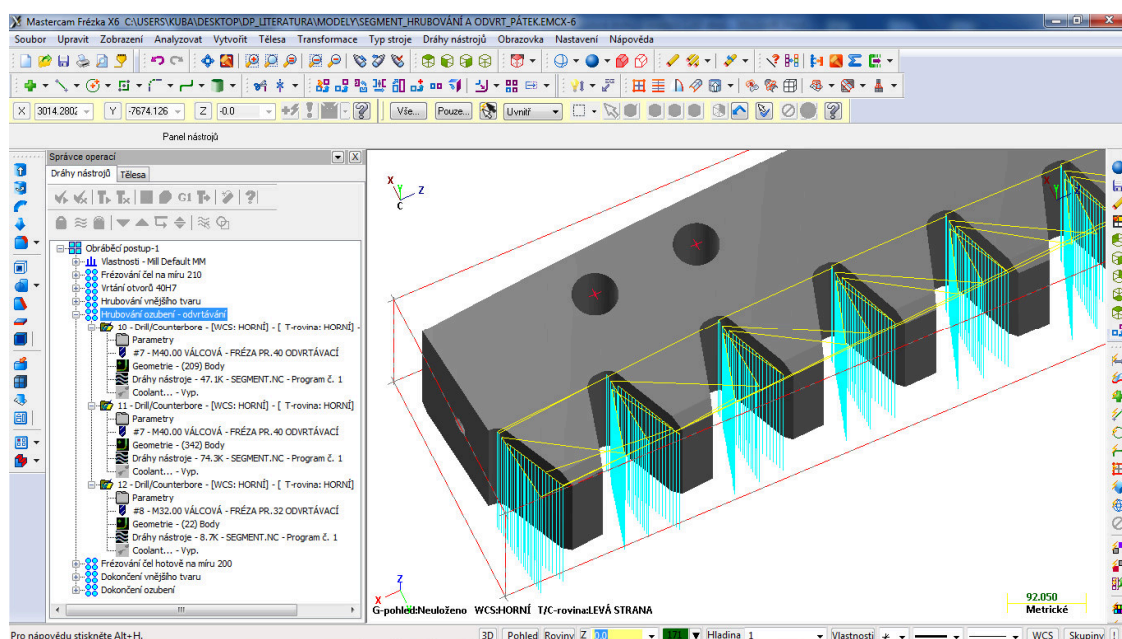
Nově navrhovaná technologie opracování ozubení uvažuje při hrubování se strategií tzv. zapichovacího frézování (odvrtávání, BORE JET) viz. obr. 19. Při dokončování je uvažováno s frézováním bokem stopkové frézy, jež bude kopírovat tvar boku zubu.



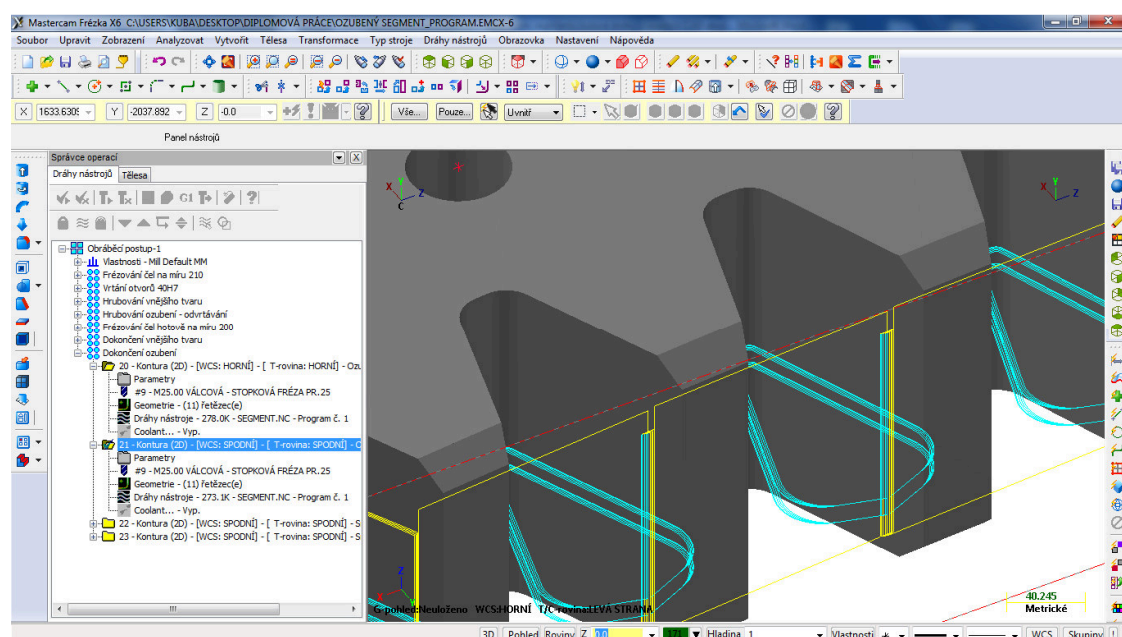
Obr. 19 Zapichovací frézování [9]

Zapichovací frézování – tato hrubovací strategie je používána tam, kde obráběcí proces klade nároky převyšující rámec běžného frézování. Obrábění se provádí zapichováním při využití vhodného nástroje, kde nástroj koná sérii vrtacích pohybů (pohybem v Z-ové ose a nikoliv v X-ové nebo Y-ové ose) v pravidelně uspořádané síti bodů. Nástroj tedy vykonává sérii překrývajících se pohybů, které se podobají vrtání a postupně odstraňuje válcové objemy materiálu. Výhodou tohoto způsobu je působení sil v ose nástroje. [5]

Obrázky 20 a 21 ukazují strategie hrubování a dokončení ozubení segmentu v prostředí programu Mastercam X6.



Obr. 20 Strategie hrubování ozubení odvrtáváním



Obr. 21 Strategie dokončení ozubení – kopírování tvaru zubu stopkovou frézou

5.7 Nástroje použité pro opracování ozubení segmentu


Pro hrubování ozubení strategií odvrtávání byl zvolen tyto nástroje:

- **T7:** fréza společnosti Pramet s označením 40A04R-S90AD16E-C osazena plátky ADMX 160608SR-M (obr. 22)
- **T8:** fréza od společnosti Kyocera s označením MEC 32-S32-250-17 osazena plátky BDMT 17408ER-JT (obr. 23)

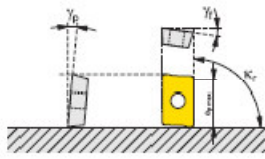
Pro dokončení tvaru boků zubů byla zvolena

- **T9:** stopková fréza od společnosti Hofmeister (obr. 24).

S90AD16E



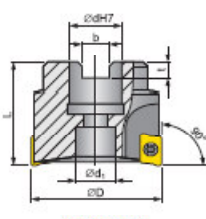
γ_p	$+10,5^\circ \div 12^\circ$	κ_r	90°
γ_f	$-3,8^\circ \div -8,2^\circ$	$a_{p \max}$	13 mm



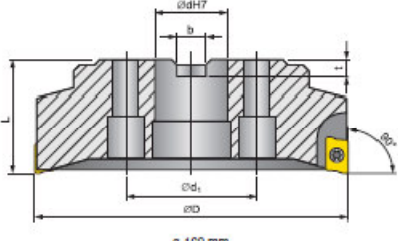
Všechny rozměry v [mm]. / Všechny rozměry v [mm].

FRÉZY DO ROHU
FRÉZY DO ROHU

FORCE AD



$\varnothing 40 \div 125$ mm






$\varnothing 160$ mm

Z* - Počet zubů / Počet zubů

ISO	Sortiment	Rozměry / Rozmery							Chlazení Chladište	[kg]
		D	dH7	d _i	L	b	t	Z*		
40A04R-S90AD16E-C	•	40	16	14	40	8,4	5,6	4	+	0,20
50A03R-S90AD16E-C	•	50	22	18	40	10,4	6,3	3	+	0,30
50A05R-S90AD16E-C	•	50	22	18	40	10,4	6,3	5	+	0,30
63A04R-S90AD16E-C	•	63	22	18	40	10,4	6,3	4	+	0,50
63A06R-S90AD16E-C	•	63	22	18	40	10,4	6,3	6	+	0,50
80A05R-S90AD16E-C	•	80	27	38	50	12,4	7,0	5	+	1,00
80A07R-S90AD16E-C	•	80	27	38	50	12,4	7,0	7	+	1,00
100A06R-S90AD16E-C	•	100	32	45	50	14,4	8,0	6	+	1,80
100A08R-S90AD16E-C	•	100	32	45	50	14,4	8,0	8	+	1,70
125A09R-S90AD16E-C	•	125	40	56	63	16,4	9,0	9	+	3,50
160C10R-S90AD16E	•	160	40	66,7	63	16,4	9,0	10		5,70

Obr. 22 Katalogový list frézy 40A04R-S90AD16E-C od společnosti Pramet [9]

MEC

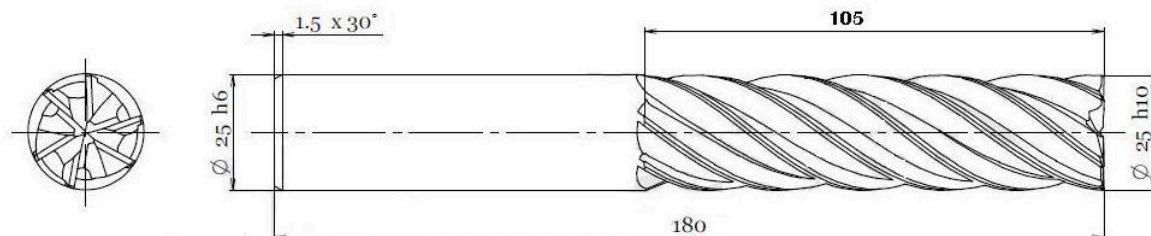
 Shouldering
  Slotting
  Facing

MEC Endmill (metric-size)

Toolholder Dimensions (mm)

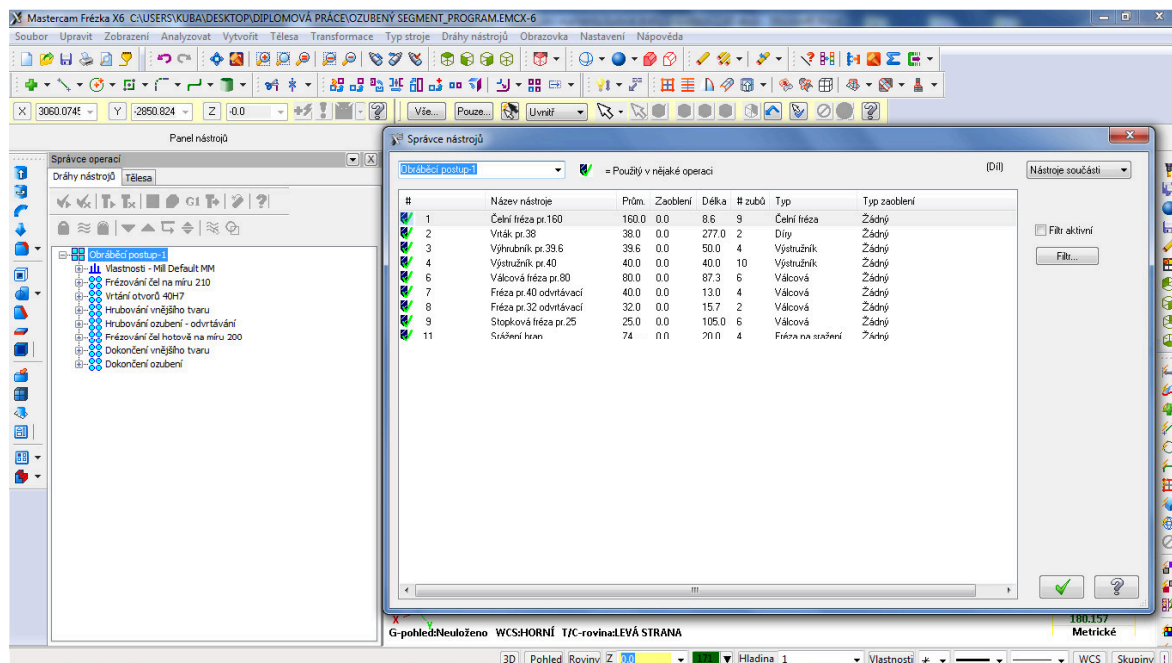
Description	Stock	No. of Inserts	Dimension (mm)					Rake Angle (°)		Coolant Hole	Drawing	Spare Parts		Max. Revolution (min ⁻¹)	Applicable Inserts
			øD	ød	L	ℓ	S	A.R. (MAX)	R.R.			Insert Screw	Wrench		
Cylindrical	Long Shank	MEC 20-S18-170-11T	○		18	170	30				Fig.3				
		20-S20-140-11T	○	20		140	60	+20°			Fig.4			41,000	
		20-S20-170-11T	○	20		170	30								
		22-S20-170-11T	○	22		170	30		-10°		Fig.3			39,600	
		25-S23-210-11T	○	25	210	32		+21°			Fig.4			37,500	BDCT
		25-S25-160-11T	○	25		160	60				Fig.3				
		25-S25-210-11T	○	25	210					Yes	Fig.4	SB-2555TRG	DTM-8	125,800	11T300CR-JC
		28-S25-210-11T	○	28		210	32	+22°			Fig.3				Page B20-B21
		32-S30-250-11T	○	32	250	40			-9°		Fig.4			33,900	
		32-S32-200-11T	○	32		200	65				Fig.3			32,600	
		32-S32-250-11T	○	125	32	250	40	+23°			Fig.4			30,000	
		125-S32-250-11T	○	125		250	40		-8°		Fig.3				
		40-S32-240-11T	○	40		240	65								
	Standard	MEC 25-S20-17	○	25	20	120	36	+16°	-11°		Fig.3	SB-4070TRN	DTM-15	125,000	
		32-S25-17	○	32	25	130	40	+17°	-7°	Yes	Fig.3			30,000	
		40-S32-17	○	40		150	50	+19°						25,000	
		50-S32-17	○	50		150	50							17,000	
Long Shank	Standard	MEC 25-S25-17	○	25	25	120	36	+16°	-11°	Yes	Fig.4	SB-4070TRN	DTM-15	125,000	BDCT
		32-S32-17	○	32	32	130	40	+17°	-7°		Fig.3			30,000	
	Long Shank	MEC 25-S25-160-17	○	25		160	60				Fig.4			125,000	170400CR-JC
		25-S25-210-17	○	25		210	36	+16°	-11°		Fig.3			32,500	Page B20-B21
		28-S25-210-17	○	28		210	36								
		32-S32-200-17	○	32		200	65	+17°	-7°	Yes	Fig.4	SB-4070TRN	DTM-15	30,000	
		32-S32-250-17	○	125	32	250	40				Fig.3			27,700	
		125-S32-250-17	○	125		250	40								
		40-S32-240-17	○	40		240	65	+19°			Fig.3			25,000	

Obr. 23 Katalogový list frézy MEC 32-S32-250-17 od společnosti Kyocera [10]



Obr. 24 Stopková fréza pro dokončení tvaru ozubení od společnosti Hofmeister

Použité nástroje byly do programu Mastercam X6 vloženy přes *Správce nástrojů* dle rozměrů udávající jejich katalogové listy (obr. 25). Kompletní nástrojový list včetně řezných podmínek je přílohou této diplomové práce (Příloha B).



Obr. 25 Vlevo jednotlivé sekce postupu opracování segmentu. V podokně seznam použitého nářadí v postupu

6 TECHNICKO – EKONOMICKÝ PŘÍNOS NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ

Porovnání stávající a navrhované technologie opracování segmentu je založeno na vyčíslení časové a finanční úspore. Při vyčíslení úspor se vychází z původního a navrhovaného technologického postupu.

Technicko-ekonomické zhodnocení se bude také týkat vyčíslení nákladů na pořízení nástrojů pro nově navrhované opracování ozubení segmentu v porovnání s použitím tvarových nástrojů při stávající technologii.

Technicko-ekonomické zhodnocení bude provedeno pro výrobu jednoho kusu ozubeného segmentu.

6.1 Úspora času

Při stanovení časové úspory je porovnána celková doba výroby segmentu stávající technologie s nově navrženou technologií.

Původní technologie

Celková průběžná doba operací opracování T_P :

$$T_P = \Sigma T_{AP} + \Sigma T_{BP}$$

$$T_P = (1520+180+2010+180+400+210+450+180+450+150+860) + \\ (90+30+70+70+70+40+70+70+70+30+90)$$

$$T_P = 7290 \text{ [min]} = 121,5 \text{ [hod]}$$

Navrhovaná technologie

Při nově navrhované technologii bylo použito časů vypočítaných programem Mastercam X6 na základě zadaných řezných podmínek a drah nástrojů. Výsledný čas byl dle zkušenosti v praxi, konzultaci s technickou podporou CAM systému a vedoucím diplomové práce navýšen o přepočítavací koeficient 1,4. Dále je k tomuto času připočítán čas upínání/ustavování segmentu v jednotlivých polohách. Čas byl určen z normativních technologických časů zahrnutých ve stávající technologii.

Celková průběžná doba operací opracování T_N :

$$T_N = \Sigma T_{AN} + \Sigma T_{BN}$$

$$T_N = (80+175+72+450+260+130+170+465+65) + (30+80+15+30+15+30+30+15+35)$$

$$T_N = 2147 \text{ [min]} = 35,8 \text{ [hod]}$$

Celková úspora času

Tab. 4 Úspora průběžné doby opracování

Technologie	Průběžná doba opracování [hod]
Stávající T_P	121,5
Navrhovaná T_N	35,8
Úspora času	85,7

6.2 Úspora nákladů opracování**Původní technologie**

Hodinové sazby strojů použitých ve stávajícím technologickém postupu:

- 1 - Vodorovná vyvrtávačka W160HC-NC = 1 100 Kč
- 2 - Frézka FCH63SCA = 560 Kč
- 3 - Vodorovná vyvrtávačka W200GMR/4000 = 730 Kč
- 4 - Vodorovná vyvrtávačka W200GRNC 3.7/9.0 = 1 100 Kč
- 5 - Vodorovná vyvrtávačka W160/5.1 = 730 Kč
- 6 - Vodorovná vyvrtávačka WHN13.8CNC = 850 Kč

Průběžný čas na jednotlivých strojích

$$T_1 = (1520+90) = 1610 \text{ [min]} = 26,8 \text{ [hod]}$$

$$T_2 = (180+30) + (150+30) = 390 \text{ [min]} = 6,5 \text{ [hod]}$$

$$T_3 = (2010+70) + (180+70) + (180+70) = 2580 \text{ [min]} = 43 \text{ [hod]}$$

$$T_4 = (400+70) + (450+70) = 990 \text{ [min]} = 16,5 \text{ [hod]}$$

$$T_5 = (210+40) = 250 \text{ [min]} = 4,17 \text{ [hod]}$$

$$T_6 = (450+70) + (860+90) = 1470 \text{ [min]} = 24,5 \text{ [hod]}$$

Náklad na jednotlivých strojích

$$U_1 = T_1 \cdot \text{sazba} = 26,8 \cdot 1100 = 29\,480 \text{ Kč}$$

$$U_2 = T_2 \cdot \text{sazba} = 6,5 \cdot 560 = 3\,640 \text{ Kč}$$

$$U_3 = T_3 \cdot \text{sazba} = 43 \cdot 730 = 31\,390 \text{ Kč}$$

$$U_4 = T_4 \cdot \text{sazba} = 16,5 \cdot 1100 = 18\,150 \text{ Kč}$$

$$U_5 = T_5 \cdot \text{sazba} = 4,17 \cdot 730 = 3\,044 \text{ Kč}$$

$$U_6 = T_6 \cdot \text{sazba} = 24,5 \cdot 850 = 20\,825 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na opracování dle stávající technologie

$$U_P = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6$$

$$U_P = 29\,480 + 3\,640 + 31\,390 + 18\,150 + 3\,044 + 20\,825$$

$$\mathbf{U_P = 106\,529 \text{ Kč}}$$

Navrhovaná technologieHodinové sazby strojů použitých v navrhovaném technologickém postupu:

1 - Frézka FCH63SCA = 560 Kč

2 - Vodorovná vyvrtávačka WFT13CNC = 1 800 Kč

Průběžný čas na jednotlivých navrhovaných strojích

$$T_1 = (210+60) = 270 \text{ [min]} = 4,5 \text{ [hod]}$$

$$T_2 = (1657+220) = 1877 \text{ [min]} = 31,3 \text{ [hod]}$$

Náklad na jednotlivých navrhovaných strojích

$$U_1 = T_1 \cdot \text{sazba} = 4,5 \cdot 560 = 2\,520 \text{ Kč}$$

$$U_2 = T_2 \cdot \text{sazba} = 31,3 \cdot 1800 = 56\,340 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na opracování dle stávající technologie

$$U_N = U_1 + U_2$$

$$U_N = 2\,520 + 56\,340$$

$$U_N = 58\,860 \text{ Kč}$$

Celková úspora nákladů opracování

Tab. 5 Úspora nákladů na opracování

Technologie	Náklady na opracování [Kč]
Stávající U_P	106 529,-
Navrhovaná U_N	58 860,-
Úspora nákladů	47 669,-

6.3 Úspora nástrojů při opracování ozubení

Náklady na nástroje jsou určeny jako prvotní náklad při jejich pořízení pro výrobu všech 32 kusů ozubeného segmentu. Pozdější náklady na přeostření nástrojů a výměnu nových VBD jsou již zahrnuty v sazbě stroje.

Stávající technologie

- cena jedné hrubovací tvarové frézy včetně 6-ti VBD

$$N_{\text{PHR}} = 49\,900 + 6 \cdot 165 = 50\,890 \text{ Kč}$$

- cena jedné dokončovací tvarové frézy

$$N_{\text{PDO}} = 48\,300 \text{ Kč}$$

Na opracování 32 kusů segmentu je potřeba 10 kusů dokončovací frézy. Celkové náklady na pořízení nástrojů na opracování ozubení stávajícími technologiemi jsou:

$$N_{\text{PC}} = N_{\text{PHR}} + 10 \cdot N_{\text{PDO}} = 50\,890 + 10 \cdot 48\,300 = 533\,890 \text{ Kč}$$

Navrhovaná technologie

- cena hrubovací frézy (T7) od společnosti Pramet s označením 40A04R-S90AD16E-C osazena 4x VBD ADMX 160608SR-M

$$N_{\text{NHR1}} = 6\,460 + 4 \cdot 317 = 7\,728 \text{ Kč}$$

- cena dohrubovací frézy (T8) od společnosti Kyocera s označením MEC 32-S32-250-17 osazena 2x VBD BDMT 17408ER-JT

$$N_{\text{NHR2}} = 6\,150 + 2 \cdot 181 = 6\,615 \text{ Kč}$$

- cena stopkové frézy (T9) od společnosti Hofmeister

$$N_{\text{NDO}} = 9\,275 \text{ Kč}$$

Na opracování 32 kusů segmentu je potřeba 20 kusů dokončovací frézy (T9). Celkové náklady na pořízení nástrojů na opracování ozubení stávajícími technologiemi jsou:

$$N_{\text{NC}} = N_{\text{NHR1}} + N_{\text{NHR2}} + 20 \cdot N_{\text{NDO}} = 7\,728 + 6\,615 + 20 \cdot 9\,275 = 199\,843 \text{ Kč}$$

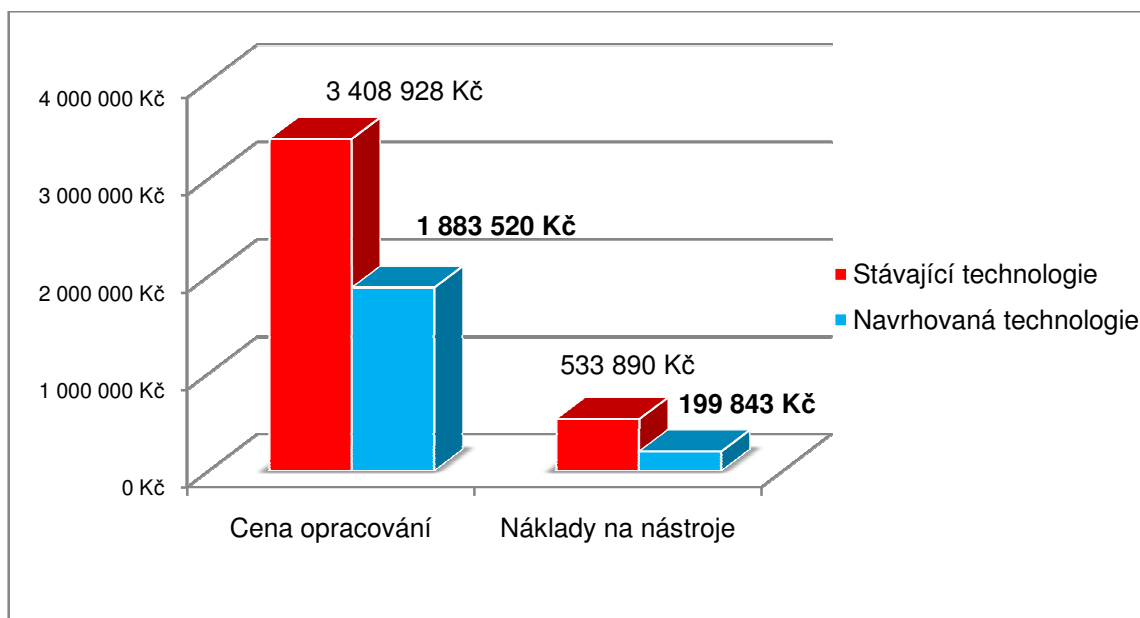
Celková úspora nákladů za pořízení nástrojů

Tab. 5 Úspora nákladů nástrojů

Technologie	Náklady na nářadí [Kč]
Stávající N _{PC}	533 890,-
Navrhovaná N _{NC}	199 843,-
Úspora nákladů	334 047,-

6.4 Celková úspora za použití navrhované technologie

V celkové úspoře je uvažováno opracování všech kusů segmentu ozubeného věnce. Celkem tedy 32 kusů.



Graf 1 Náklady na opracování 32 kusů segmentu

Úspora při použití nově navržené technologie je tedy celkem:

$$C_{\text{úsp}} = (3\,408\,928 + 533\,890) - (1\,883\,520 + 199\,843) = \underline{\underline{1\,859\,455 \text{ Kč}}}$$

7 ZÁVĚRY PRO REALIZACI V PRAXI

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout nový technologický postup výroby opracování ozubeného segmentu kulové dráhy.

V první části práce je popsána stávající technologie, jejíž výroba probíhá z velké části na konvenčních strojích. Samotné opracování ozubení segmentu je prováděno tvarovými čepovými frézami. Ty jsou z hlediska velkého modulu ozubení vyrobeny jako speciální nástroje.

Druhá část práce se zabývá obecným popisem výrobního procesu od jeho přípravy až po podklady nutné pro výrobu součástí. Dále je v této části uveden úvod do problematiky CAD/CAM systémů.

Další část je věnována popisu nově navržené technologie opracování segmentu. Jako výrobní stroj je uvažována CNC vodorovná vyvrtávačka WFT13CNC, která se již brzy bude nacházet ve strojovém parku výrobní společnosti, jež bude segment opracovávat. Návrh nových progresivních nástrojů byl zaměřen na opracování samotného ozubení, u něhož proběhla i změna strategie obrábění.

K vyhotovení výrobního programu byl použit CAM software Mastercam X6. Pomocí simulace v tomto software se zjistila funkčnost programu navržené technologie. Výrobní program spolu s NC kódem je uložen na CD disku této diplomové práce.

Navrhovaná technologie opracování ozubeného segmentu kulové dráhy je v závěru práce doplněna o technicko-ekonomické zhodnocení.

Ověření výroby ozubeného segmentu v praxi nebylo možné. Důvodem je zpoždění prací při budování stavebních základů pro nový stroj. Technicko-ekonomické zhodnocení ovšem dokazuje, že se navrhovaným technologickým postupem dosáhne značné úspory. Proto je diplomová práce podnětem i pro změny technologií segmentů jiných rozměrů (zpravidla menších), kterými jsou osazeny velkstroje KU 300 nebo KU 800.

8 POUŽITÁ LITERATURA

[1] ZEMČÍK, O. *Technologické procesy – část obrábění*, učební texty kombinovaného bakalářského studia. VUT Brno, 2002.

[2] ZEMČÍK, O. *Technologická příprava výroby*. Skriptum FSI VUT Brno, 2002.

[3] SADÍLEK, M. *Počítačová podpora výroby*. Studijní opora. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011, 80 s.

[4] *Ked' free CAD nestačí*. [online], [cit.2014-03-07]
URL: <<http://www.freecad.sk/sk/cad-history>>

[5] SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II.* doplněné vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-4.

[6] *Noen*. [online], [cit. 2014-03-08].
URL: <<http://www.noen.cz/o-noenu>>

[7] ČSN 41 5260 *Ocel 15 260*. Praha: Český normalizační institut. 2008. 13s.

[8] *Wikipedie otevřená encyklopedie*. [online], [cit. 2014-03-15]
URL: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Mastercam>>

[9] Katalog PRAMET, *Katalog frézování 2014*

[10] Katalog KYOCERA , Kyocera Cutting Tools – Milling Catalog 2013

[11] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. 256 s. ISBN 978-80-248-1505-3.

[12] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.

[13] LEINVEBER, J.; ŘASA, J.; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Scienta s.r.o., 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.

Seznam příloh

- A – Výrobní výkres - Ozubený segment, č.v. UND-302510
- B – Nástrojový list
- C – Schéma umístění upínacích prvků pro operaci 3 navrhovaného postupu

Přílohy na CD disku

- Kompletní obráběcí program pro Mastercam X6
(OZUBENÝ SEGMENT_PROGRAM.EMCX-6)
- NC kód
(OZUBENÝ SEGMENT.NC / OZUBENÝ SEGMENT.TXT)
- Seřizovací list
(SEŘIZOVACÍ LIST_OZUBENÝ SEGMENT.pdf)